

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

**MOŽNOSTI STANOVENÍ INDEXU
PLASTICITY ZEMIN
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. JIŘÍ PAVLÁSEK, PH.D.

BAKALANT: MIROSLAV DROZEN

2011

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Pavláška, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze, dne 29. 4. 2011

.....

Tímto děkuji za ochotnou a milou spolupráci při provádění zkoušek Českému vysokému učení technickému v Praze, Fakultě stavební, Centru experimentální geotechniky, konkrétně Ing. Lucii Hausmannové, Ing. Radkovi Vašíčkovi, Ph.D. a prof. Ing. Jaroslavu Pacovskému, CSc. Bez jejich spolupráce by tato práce nevznikla.

V Praze, dne 29. 4. 2011

.....

ABSTRAKT, KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Index plasticity zemin je důležitou hodnotou využívanou jak v zemědělství, tak ve stavebnictví. Pro jeho určení je třeba stanovit mez plasticity a mez tekutosti. V současné době je v České republice využívána dle normy pouze jedna metoda stanovení meze tekutosti, avšak v nedávné době byly používány dvě, které se lišily metodikou a použitými přístroji. Výsledky již nepoužívané metody byly v aktuální normě popsány jako subjektivně ovlivněné osobním přístupem laboranta. Na zájmovém vzorku byly stanoveny indexy tekutosti oběma metodami, porovnány a srovnány s literaturou. Cílem je zjistit, jak se obě metody provádí a zdali se ve výsledcích liší. Výsledkem je i stanovení indexu plasticity vybraného vzorku.

Klíčová slova

konzistenční meze, Casagrandeho miska, penetrační kužel, index tekutosti, Atterbergovy meze

Abstract

Soil plasticity index is a value important for both agriculture and construction. It is necessary to set liquid limit and plasticity limit for its determination. Nowadays, only one method is used as a standard in Czech Republic, but until recently there were two, that differ by methodology and used equipment. Results gained by outdated method was in actual standard described as a subjectively influenced by individual approach of an operator. Liquid index was set at selected sample by both methods, mutually compared and confronted with bibliography. My goal was to learn how to carry out both methods and whether there is difference between them in results. Getting of plasticity index from selected sample is an outcome as well.

Keywords

Consistence limits, Casagrande apparatus, cone penetrometer, liquid limit, Atterberg limits

OBSAH

1	Úvod.....	6
2	Cíle práce	8
3	Literární rešerše	9
3.1	Stavy a meze zeminy	9
3.2	Definice meze plasticity	11
3.3	Určení meze plasticity	11
3.4	Definice meze tekutosti	14
3.5	Určení meze tekutosti	15
4	Charakteristika studijního území	23
5	Metodika	24
5.1	Odběr vzorku	24
5.2	Vybavení	24
5.3	Příprava vzorku	25
5.4	Stanovení meze tekutosti	25
5.5	Stanovení meze plasticity	27
5.6	Zjištění vlhkosti	28
5.7	Zjištění meze plasticity	28
5.8	Zjištění meze tekutosti	28
5.9	Zjištění indexu plasticity	28
6	Výsledky práce	29
7	Diskuse.....	31
7.1	Praktická část.....	31
7.2	Zhodnocení výsledků	32
8	Závěr	33
9	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	34
10	Přílohy.....	36

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce vznikla jako rozšíření mého vlastního zájmu o problematiku indexu plasticity. Chtěl jsem zjistit, zdali svah na zájmovém pozemku, který využívám k volnočasovým aktivitám, bude schopen udržet na terase lehkou dřevěnou stavbu, nebo by riziko strhnutí svahu bylo příliš velké. Proto jsem požádal Ing. Jiřího Pavlásku, Ph.D., zda by mi neumožnil si stanovit v laboratoři index plasticity, neboť na tomto zájmovém území zkouška s největší pravděpodobností prováděna nikdy nebyla. Navíc se jednalo o zajímavý vzorek, neboť se dříve na pozemku těžil kaolín. Po krátké spolupráci mi bylo nabídnuto, abych tento zájem rovnou rozvedl do bakalářské práce, což jsem přijal.

Na České zemědělské univerzitě v Praze byla k dispozici pouze tzv. Casagrandeho miska; nejspíše proto při výuce předmětu hydrogeologie byla prezentována právě tato metoda. O to větší byl zájem vedoucího práce se dozvědět o alternativní metodě tzv. kuželové zkoušky. Možnost porovnat obě metody jsem měl na půdě Českého vysokého učení technického v Praze, které využívalo primárně metody kuželové zkoušky, avšak se lišilo postupu přípravy vzorku od současné normy.

Práce byla rozšířena o porovnání metod stanovení indexu plasticity, respektive metod zjišťujících mez tekutosti, neboť donedávna byly používány celosvětově metody dvě, avšak nejnovější česká norma již popisuje postup jen jeden (ČSN CEN ISO/TS 17892-12 2005). Rešerše pak poskytla náhled na důvody, proč je v současnosti používána metoda pouze jedna. Nejspíš hlavním důvodem je, že aktuální metoda měření pomocí kuželové zkoušky je méně ovlivněna subjektivním přístupem laboranta ve srovnání s Casagrandeho metodou, a tak poskytuje přesnější výsledky. Navíc Casagrandeho přístroj a metodika práce s ním prošla od roku 1932 mnoha změnami (ČSN CEN ISO/TS 17892-12 2005). Další důvody jsou ty, že kuželová metoda je snadnější na provedení co se týče jak času, tak i nároků na vyškolení pracovníka (Wires 1984).

Obě metody byly v několika případech používány paralelně na stejných vzorcích a i když výsledky byly podobné, docházelo k některým rozdílům. Příkladem může být, že půda s nižším podílem jílové frakce při Casagrandeho metodě vykazovala systematicky nižší hodnoty oproti metodě kuželové (Christaras 1991).

Zajímavé je, že Casagrandeho metoda se stala součástí předešlé normy ČSN 72 1014 v roce 1967, přičemž v předchozí normě uvedena nebyla a s novou normou v roce 2005 byla opět odstraněna.

Česká literatura popisující index plasticity byla převážně charakteru skript pro stavební či zemědělské účely a postup převážně čerpala z tehdy platných norem ČSN 72 1013 pro stanovení meze plasticity a ČSN 72 1014 pro stanovení meze tekutosti. Nenalezl jsem česky psanou literaturu, která by popisovala stanovení indexu plasticity podle nové normy či obecně českou literaturu vydanou po roce 2005 zabývající se indexem plasticity.

Některé zahraniční zdroje popisovaly postup stanovení meze tekutosti velmi přesně, srovnatelně s popisem v českých normách (Kézdi 1980, Department of the Army 1986).

2 CÍLE PRÁCE

Cíle práce jsou tyto:

1. Teoretické porovnání metod pro stanovení konzistenčních mezí
2. Praktické stanovení konzistenčních mezí na vzorku půdy z vybraného místa
3. Vyhodnocení a porovnání měření
4. Porovnání s literaturou

Očekávané vlastní přínosy:

1. Seznámení se s problematikou stanovení konzistenčních mezí
2. Naučení se zacházet s technikou a vybavením potřebným pro stanovení mezí
3. Získání hodnot indexu plasticity zemin, které mohou být uplatněny při rozhodování o využití pozemku

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Index plasticity zemin je jedním ze základních parametrů mechaniky zemin. Tento údaj je významným při zpracování půdy, průniku rostlin do půdy (Drbal 1971), vhodnosti pro provádění krtčí drenáže (Drbal 1969) a rozhoduje o vhodnosti zeminy jako základové půdě pro plošné a pilotové základy (Šimek et al. 1990). Index plasticity je tedy studován v oborech pedologie, hydropedologie, mechaniky zemin a zakládání staveb, oblastí studia je pak konzistence zemin. Tím se rozumí soubor vlastností půdy ve vztahu k obsahu vody v ní (Drbal 1969).

U písčitých zemin je důležitou vlastností ulehlost, u hlinitých a jílovitých zemin má hlavní význam jejich soudržnost neboli konzistence (Vévoda 1978). Konzistence zemin je ovlivňována právě obsahem vody v půdě, z čehož je několik stavů a mezi důležitých a sledovaných. Přesto různí autoři popisují a dělí tyto stavy různě. Souhrnně jsou tyto meze konzistence také nazývány Atterbergovy meze podle norského keramického odborníka (Šimek 1990). Nyní popíši dělení konzistencí a mezí dle jednotlivých autorů. O metodice stanovení mezí a stavů budu psát poté, co si určíme, které jsou pro potřeby bakalářské práce nezbytné.

3.1 Stav a meze zeminy

Myslivec (1954) popisuje *mez vláčnosti* a *mez tekutosti*, přičemž *mez vláčnosti* níže uvedení autoři popisují jako *mez plasticity*.

Drbal (1969, 1971) dělí konzistenci pomocí hranic: *mez vláčnosti* – m_v , *dolní mez tekutosti* – m_{td} a *horní mez tekutosti* – m_{th} , přičemž dolní mez tekutosti je níže uvedenými autor označována jednoduše jako *mez tekutosti* (horní mez tekutosti není popsána vůbec). *Mez vláčnosti* je opět ekvivalentem meze plasticity. Dále popisuje pro speciální účely *mez lepkavosti* (přilnavosti) a *hutnost*.

Vévoda (1978) popisuje *stav tvrdý, pevný, plastický* (který dále dělí na tuho plastický, měkce plastický, velmi měkce plastický a kašovitě plastický) a *stav tekutý*, viz obr. 1, kde je zobrazen přehled změn konzistenčních stavů zeminy v závislosti na vlhkosti.

Přehled změn konzistenčních stavů zeminy v závislosti na hodnotě I_c :

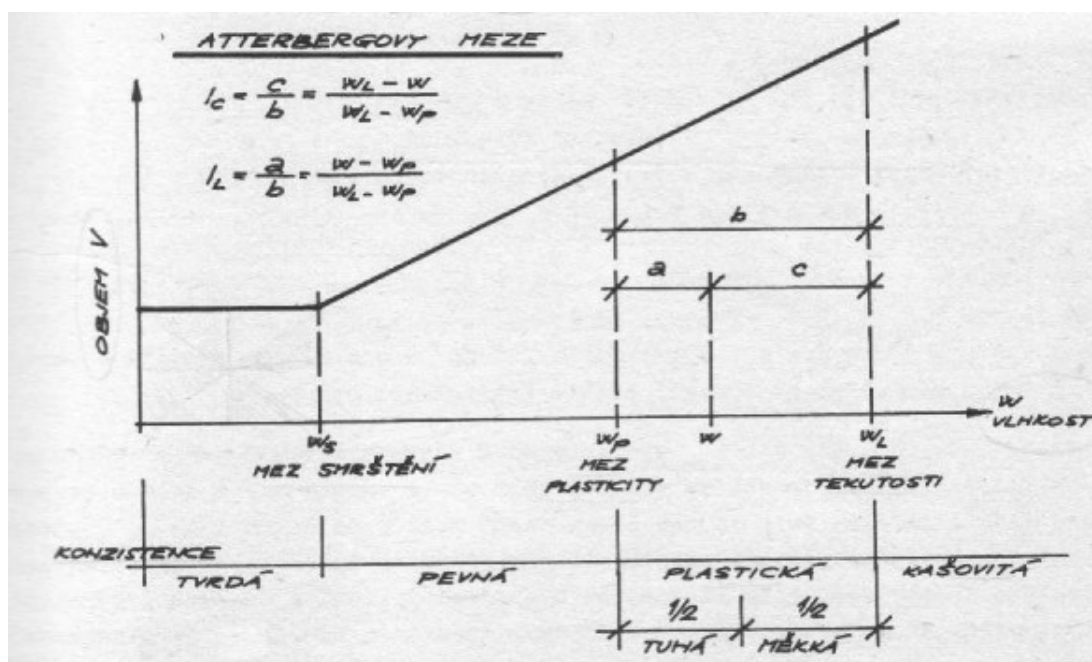
Konzistenční stavy zeminy	stav tvrdý	stav pevný	stav p l a s t i c k ý				stav tekutý
			tuho plast.	měkce plast.	velmi měkce plast.	kašovitě plast.	
Hodnota ukazatele I_c	> 1	w_s	w_p	0,75	0,25	0,05	w_L

Obrázek č. 1: Rozdělení stavů zeminy.

Obrázek zobrazuje tabulku včetně konzistenčních mezí (Vévoda 1978)

Mezi stavem pevným a plastickým je hranice pojmenovaná jako *mez plasticity* – w_p , mezi stavem plastickým a tekutým je hranice označována jako *mez tekutosti* – w_L a mezi pevným a tvrdým stavem je *mez smrštění* či smržitelnosti – w_s .

Šimek et Vaníček (1983), Šimek et Holoušová (1996) a Vaníček (1983, 2000) popisují konzistenci *tvrdou*, *pevnou*, *plastickou* (kterou dělí na měkkou a tvrdou) a *kašovitou až tekutou* a stejně jako Vévoda (1978) označují příslušné meze. Na obr. 2 je vidět rozsah vlhkostí na vlhkostní ose.



Obrázek č. 2: Rozsah vlhkostí a odpovídajících stavů konzistence zeminy.

Tento autor používá jednodušší dělení plastického stavu (Šimek 1983)

Šimek et al. (1990) dělí stavy zeminy na *tvrdý*, *pevný*, *plastický* a *kašovitý* (tekutý), (který je dále dělen na tuhoplastický a měkce plastický a kašovitě plastický).

Aktuální technická norma ČSN CEN ISO/TS 17892-12 (2005) popisuje hranice *meze plasticity* – w_p a *meze tekutosti* – w_L .

Citovaná zahraniční literatura – Kézdi (1980), Department of Army (1986), Mandal et Divshikar (1995) svorně popisují *plastic limit*, *liquid limit* a *shrinkage limit* (v překladu tedy opět mez plasticity, tekutosti a smrštitelnosti).

Bakalářská práce se zaměřuje na stanovení indexu plasticity zemin, který je ve starší literatuře, například u Vévody (1982), pojmenován jako číslo plasticity. Index plasticity je podle ČSN CEN ISO/TS 17892-12 (2005) popsán jako rozdíl mezi mezí tekutosti a mezí plasticity zemin, z čehož vyplývá, že právě **mez tekutosti a mez plasticity jsou hlavními hodnotami sledovanými při stanovení indexu plasticity zemin. Dále se tedy zaměřím na tyto hodnoty.**

3.2 Definice meze plasticity

Mez tekutosti je dle ČSN CEN ISO/TS 17892-12 (2005) určena *jako nejnižší vlhkost zeminy, při které je plastická a empiricky stanovená vlhkost, při které zemina je natolik vysušená, že ztrácí svou plasticitu.*

Vévoda (1978), Kratochvíl (1982), Vaníček (1983), Šimek et al. (1990) mez tekutosti označují jako *přechod mezi stavem pevným a plastickým.*

Drbal (1969) dodává, že mez plasticity *zhruba odpovídá bodu vadnutí.*

Vaníček (2000) ji určuje jako *hraničící vlhkost, po jejímž snížení se zemina přestává chovat jako plastický materiál a přechází do stavu pevného.*

Mandal et Divshikar (1995) určují tuto mez jako *hranici mezi stavem plastickým a polopevným* (v originále semi-solid).

3.3 Určení meze plasticity

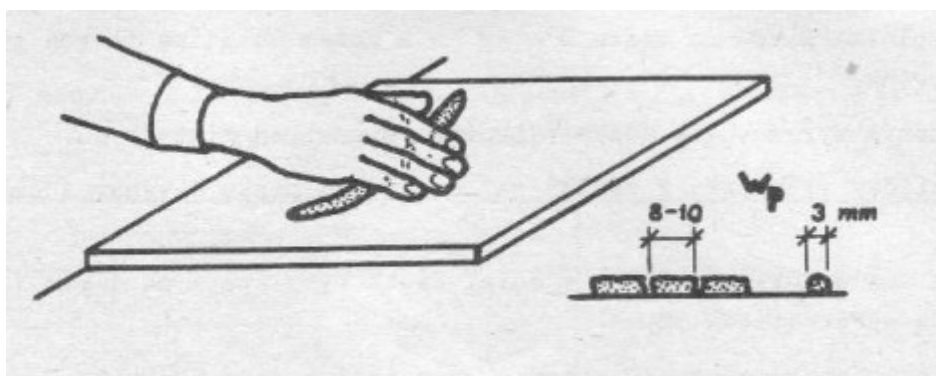
Citovaní autoři přijímají jednotný postoj k tomu, že k určení této hodnoty je třeba experimentu, neboť samotné dělení půdy na plastickou a pevnou a popis jejich vlastností, jak je popisuje například Šimek et al. (1990) je nedostatečné a je třeba určit jasnou hranici. Pro představu uvádí, že *pevná zemina má nízkou vlhkost, tmavší zabarvení, hrudky nejsou ostrohranní, zemina je drobivá, nelze z ní vyválet válečky v průměru 3 mm; tuhoplastická se těžce hněte, ale lze z ní vyválet válečky o průměru 3 mm.*

Jak již výše zmíněná citace napovídá, je třeba stanovit hodnotu empiricky, na základě opakovatelného pokusu.

Mez plasticity má jednu v základu všeobecně uznávanou metodu, kde pouze detaily a podmínky experimentu se liší, což jistě může přinést různé výsledky, avšak samotný princip je stejný. **Jedná se válení válečků zeminy.**

Tato metoda je používána desítky let celosvětově: píše se o ní v americkém manuálu (Department of Army 1986), v práci Indického institutu technologie (Mandal et Divshikar 1995) i v práci Handbook of Soil Mechanics z Budapeště (Kézdi 1980). U nás je popisována již v učebním textu Mechanika zemin (Myslivec 1954). Hlavní váhu pak má aktuální česká technická norma, která je zároveň i normou evropskou, respektive normou používanou členy CEN, tedy dvaceti osmi státy Evropy (ČSN CEN ISO/TS 17892-12 2005).

Společná část metody meze plasticity je taková, že navlhčený vzorek zeminy je válen na podložce do podoby válečku. Pokud se tento váleček začne při normativně daném průměru o šířce 3 milimetry (ČSN CEN ISO/TS 17892-12 2005) či 1/8 palce v případě angloamerické měrné soustavy (Department of Army 1986) rozpadat na fragmenty, dosáhl vzorek takové vlhkosti, kterou označujeme jako mez plasticity (Myslivec 1954). Na obr. 3 je znázorněno válení hárka a dále řez hárkem o průměru 3 mm spolu se zobrazeným rozpadem vzorku.



Obrázek č. 3: Stanovení meze plasticity válením hárků.

Obrázek ukazuje provádění pokusů a parametry, při kterých se má hádek rozpadat.

(Kratochvíl 1982)

Myslivec (1954) jako podložku popisuje filtrační papír. Drbal (1969) k tomuto postupu stanovuje šířku rozpadu fragmentů na 1 centimetr. Drbal (1971) k popisu dodává, že pokud se vyválený "hádek" při šířce 3 mm nerozpadne, má se z něj udělat kulička a pokus se má opakovat do té doby, než se váleček začne rozpadat na broky.

Vévoda (1978) šíři rozpadlých částí válečku stanovuje v rozmezí 8-10 mm, které se drží čeští autoři až do příchodu aktuální technické normy, která tuto hodnotu neuvádí. Vévoda (1978) nepopisuje podklad, avšak zmiňuje se o teplotě, při které je pokusu vzorek vysoušen, aby mohla být určena jeho vlhkost. Ta je stanovena mezi 100-110 °C. Navíc odkazuje na normu ČSN 72 1013, která dnes již je nahrazena výše zmíněnou normou ČSN CEN ISO/TS 17892-12.

Kratochvíl (1982) stanovuje i postup přípravy vzorku:

- vzorek zeminy, vysušený na vzduchu, rozmělníme gumovou stěrkou a prosejeme na sítu 0,5 mm
- asi 50 g proseté zeminy promícháme s destilovanou vodou a hněteme do tuhého těsta
- ze zeminy vyválíme kuličku a z ní dlaní na porézní podložce vyválíme váleček o průměru 3 milimetry
- rychlost válení 80-90 cyklů za minutu
- potrhané válečky ihned zvážíme pro zjištění vlhkosti a zapíšeme
- mez plasticity je průměrem dvou vlhkostí, získaných opakováním zkoušky

Vaníček (1983) a Vaníček (2000) se do jisté míry odchyluje od předchozích a pozdějších popisem, že zemina při pevném stavu se u šíře válečku 3 mm nedrolí, u pevného stavu stejné šíře se drolí. Mez plasticity je tedy jakýmsi mezistavem.

Mandal et Divshikar (1995) popisují postup takto:

- prosít 25 gramů zeminy sítem o velikosti ok 0,42 mm a umístit ji na skleněnou podložku, poté promíchat s destilovanou vodou tak, že vzorek je plastický natolik, aby z něj mohl být vyválena kulička
- vyválet z kuličky váleček na skleněné podložce o průměru 3 milimetry
- pokud zemina se nezačne při průměru 3 milimetry rozpadat, opět zeminu uhníst a vyválet z ní váleček
- rozpadlé kusy válečku sesbírat a pomocí sušárny zjistit obsah vody

Kédzi (1980) uvádí v návodu použití kovové tyčky držené v ruce jako pomůcky při určení průměru válečky zeminy. Mimo jiné také popisuje další pravidla vhodná k dodržení pro co nejlepší výsledek:

- vzorky by měly být využity ze souběžně prováděného testu meze tekutosti

- válení by mělo být prováděno stejnou silou
- ruce musí být čisté a umyty mezi měřeními
- hodinové sklíčko, na které se pokládá vyválený hádek, by mělo být vystaveno vzduchu co nejkratší dobu
- měření by mělo být prováděno v místnosti s vyšší vlhkostí

Department of Army (1986) má jako součást popisu i rychlost, jakou se má váleček válet: za minutu provést 80-90 pohybů ruky tam a zpět. Dále uvádí, že celková hmotnost dále vysoušeného by měla být alespoň 9 gramů, proto může být vyžadováno válení opakovat na více částech vzorku.

ČSN CEN ISO/TS 17892-12 (2005) pochopitelně popisuje celou proceduru velmi pečlivě, krok po kroku. V úvodu upozorňuje, že výsledky jsou ovlivněny přístupem laboranta a proto může dojít k rozdílným výsledkům. Dále je popsáno, že se má použít připravený vzorek o hmotnosti 20 gramů, vytvarovat do koule, střídavě válet a hníst v rukách a mezi prsty do té doby, dokud se na kouli neobjeví trhlinky. Poté se má koule rozdělit na dva vzorky o hmotnosti 10g. Tyto poloviny se mají rozdělit na čtyři díly, které se mezi prsty rozválí do válečků o průměru 6 milimetrů a na nich se má provést postup válení válečků, přičemž se fragmenty rozpadlých válečků z každé poloviny zváží a nechají vysušit samostatně. Z výsledků těchto dvou měření se nakonec udělá průměr. Samotné válení je popsáno tak, že má probíhat stejnou silou od počátku válení k dosaženým třem milimetrům, má se provádět prsty od konečků k druhým kloubům na povrchu skleněné desky. Navíc je určena rychlost válení: za jednu vteřinu má dojít k pohybu tam a zpět, přičemž vynaložená síla má zmenšit průměr z šesti na tři milimetry během pěti až deseti pohybů.

3.4 Definice meze tekutosti

Mez tekutosti je dle ČSN CEN ISO/TS 17892-12 (2005) definována jako *empiricky stanovená vlhkost, při které zemina přechází ze stavu tekutého do stavu plastického*.

Drbal (1969) uvádí, že tento *stupeň ovlhčení odpovídá stavu, při němž zemina přechází ze stavu tekutého do plastického a přestává téct*.

Vévoda (1978) popisuje mez tekutosti tak, že *rozděluje stav plastický a tekutý*.

Kratochvíl (1982) píše, že *mez tekutosti je vlhkost zeminy, při níž zemina přechází ze stavu plastického do stavu tekutého*.

Vaniček (1983) uvádí, že mez tekutosti je *vlhkost, při které zemina již vykazuje určitou smykovou pevnost a je hraniční mezi stavem tekutým a plastickým* a zjišťuje se empiricky.

Šimek et al. (1990) píše, že mez tekutosti *odpovídá vlhkosti, při které nastává přechod z měkce plastického do tekutého (kašovitého) stavu.*

3.5 Určení meze tekutosti

Nejnámější a nejpoužívanější metody jsou dvě: Casagrandeho miska a kuželová zkouška. Casagrandeho metoda byla u nás uznána za normativní od roku 1967.

Vasiljevova metoda, využívajícího kuželového přístroje, popisuje i předešlá technická norma ČSN 72 1014 a ve změně proti předchozí verzi uvádí, že před verzí roku 1967 byla využívána právě Vasiljevova metoda (ČSN 72 1014 1967).

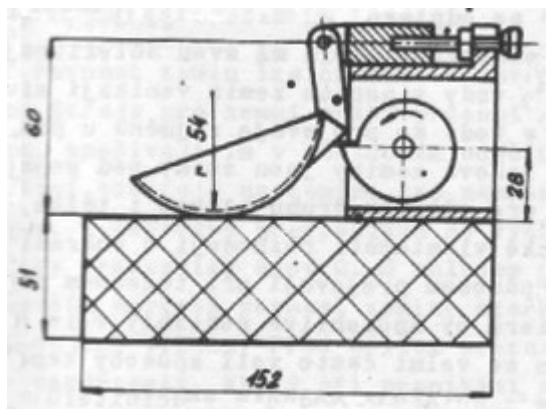
Technická norma ČSN CEN ISO/TS 17892-12, která normu předchozí nahradila, výhradně pracuje opět s kuželovou zkouškou a Casagrandeho metodu popisuje jako nevhodnou. Hlavním důvodem je velké subjektivní ovlivnění výsledků přístupem laboranta při provádění a vyhodnocení, dále změny přístroje od jeho vzniku a nakonec i rozdíly v samotné metodice měření. Toto bylo prokázáno zkušenostmi (ČSN CEN ISO/TS 17892-12 2005).

V zahraničí bylo užíváno obou metod a také byly tyto metody srovnávány, co se týče naměřených hodnot, rychlosti a přesnosti měření. **Těžištěm mé práce bude srovnání těchto metod na zájmovém vzorku a jejich vliv na hodnotu indexu plasticity.**

Casagrandeho metoda pracuje na principu slévání zeminy při její vysoké vlhkosti.

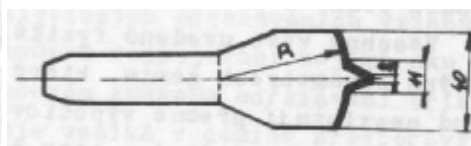
K tomu by vyvinut přístroj, jehož hlavní částí je miska z nerezovacího kovu, do které se vloží vzorek půdy a normovaným nožem se rozdělí na polovinu, přičemž uprostřed zůstane brázda o dané šíři dna, sklonu stěn. Nůž zároveň upraví výši vzorku. Tato miska je připevněna na volné rameno ke sloupku tak, aby byla skloněna (nebyla vodorovně) a její nejnižší část se dotýkala pryžové podložky. Poté je mechanismem, poháněným rukou otáčející klikkou, případně elektricky, miska nadzvednuta nad podložku a samovolně spuštěna, čímž udeří do podložky. Klikkou se musí otáčet rovnoměrnou rychlostí, aby miska pravidelně narážela na dno přístroje. Tím začne docházet ke slívání obou polovin vzorku. Po určitém počtu úderů a slití brázdy na určité délce se tato hodnota zaznamená a z ní se vychází při

výpočtu. Čím je vzorek sušší, tím je potřeba více úderů, aby došlo ke slití. (Department of Army 1986). Na obrázku č. 4 je nákres Casagrandeho misky, na obrázku č. 5 pak nůž.



Obrázek č. 4: Nákres Casagrandeho misky. Boční pohled na nákres misky včetně základních parametrů.

(Vévoda 1978)

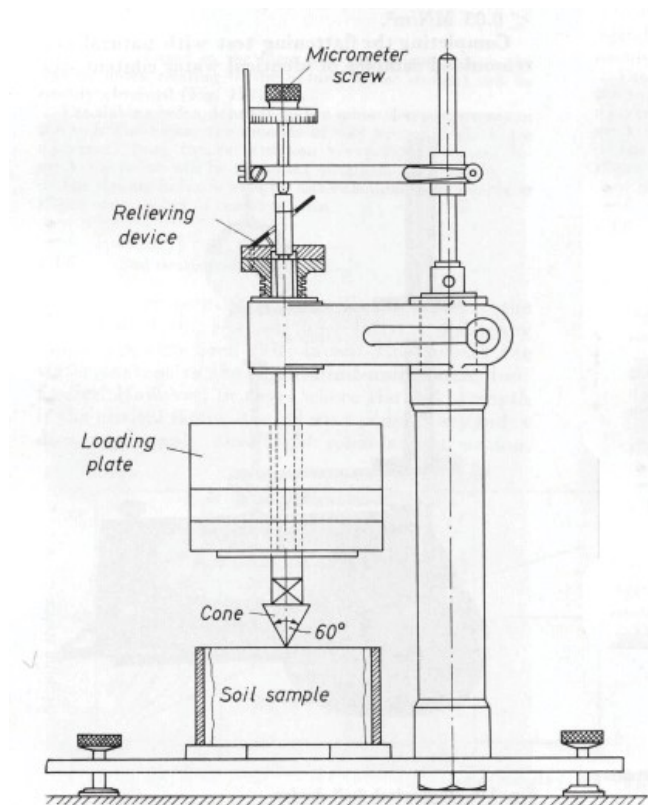


Obrázek č. 5: Vyřezávací nůž. Nákres nože, kterým se má provádět vykrojení brázdy v misce včetně základních parametrů.

(Vévoda 1978)

Kuželová zkouška pracuje na principu zanoření normativního kužele do připraveného vzorku půdy. Kuželík o daném úhlu hrotu a váze je umístěn těsně nad vzorek umístěný v nádobce a poté je spuštěn do vzorku půdy. Po dané době v řádu vteřin je odečteno, nakolik se do vzorku zanořil. Čím je vzorek sušší, tím méně se kuželík zanoří (Kézdi 1980). Na obrázku č. 6 je zachycen nákres kuželové aparatury ze Švédska.

Myslivec (1954) popisuje Casagrandeho metodu: Vodou nasycenou zeminu, jež tvoří v normalizované misce koláč asi 1 cm vysoký. Ten je rozříznut nožem, který v ní zanechá brázdu o šířce dna 2 milimetry se sklonem svahu 60° a která je po dvaceti pěti úderech misky slita na délku jednoho centimetru.



Obrázek číslo 6: Nákras kuželového přístroje používaného ve Švédsku.

Tento přístroj byl již v letech vydání publikace používán v zahraničí. (Kézdi 1980)

ČSN 72 1014 (1967) je normou popisující celý proces stanovení meze tekutosti zemin. Popisuje metodu využívající Casagrandeho misku jako Atterbergovu metodu a určuje i způsob stanovení meze i pomoci Vasiljevova kužele.

Společná příprava vzorku spočívá v prosetí zeminy o velikosti ok 0,5 milimetrů, přičemž je nutno odebrat alespoň 200 gramů zeminy. Stanovení pomocí misky má dvě metody: standardním způsobem a jednobodovou zkouškou.

Standardní způsob popisuje provlhčení získané zeminy destilovanou vodou, prohnětení a propracování po dobu pěti minut. U jílovitých zemí je popsáno, že se musí nechat uležet po dobu 24 hodin z důvodu rovnoměrného rozdělení vlhkosti.

Vzorek je pak přenesen na misku tak, aby měl výši 10 milimetrů, je rozdělen nožem stejně, jak popisuje Myslivec (1954). Norma uvádí, že má být otáčeno kličkou, která uvádí misku od pohybu, rychlostí dvou otáček za vteřinu a výška dopadu misky má být jeden centimetr. Délka slití dvou polovin vzorku má být 12,5 mm. V tomto okamžiku je třeba zaznamenat počet úderů, do misky se přidá trochu zeminy o stejné vlhkosti a opět se vzorek rozřízne nožem. Postup se opakuje tak dlouho, dokud ve

dvou po sobě následujících pokusech nedojde ke slítí po stejném počtu úderů. Počet úderů musí být v rozmezí 15 až 35. Vyhovuje-li tato hodnota, odebere se vzorek o hmotnosti 10 gramů, zváží se a nechá se sušit, aby se zjistila jeho vlhkost. Tento postup se opakuje alespoň čtyřikrát v daném rozmezí a výsledné hodnoty se zaznamenají v semilogaritmickém měřítku a proloží přímkou, která určí mez tekutosti.

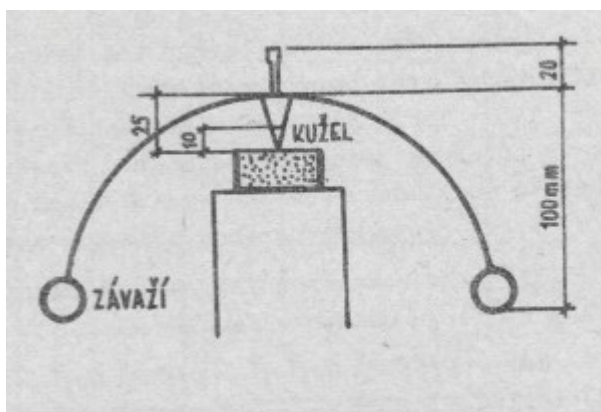
V textu je dále upozorňováno na to, že pokud se s vlhčeným vzorkem nepracuje, je nutno ho přikrýt, aby nedocházelo k jeho osychání. Vliv má také délka doby potřebná na provedení zkoušky a počáteční vlhkost zeminy.

Jednobodová metoda pomocí misky uvádí, že stačí 50 gramů zeminy, hnětení má trvat alespoň 10 minut a je nutné takové provlhčení, aby se vzorek na misce slil přibližně po dvaceti pěti úderech. Pokud se tak stane, nechá se zemina 24 hodin uležet za normální pokojové teploty. Před zkouškou se opět prohněte a opět dochází k měření, tentokrát rozpětí úderů je mezi 20 a 30. Z této hodnoty se určí vlhkost podle vzorce, který uvádí hodnoty v procentech sušiny.

Mez tekutosti podle **Vasiljevova kužele** začíná vytvořením vzorku, který se po prohnětení nechá dvě hodiny v přikryté nádobě. Kuželík má stanoven úhel 30°, výšku 25 mm a váhu 76 gramů $\pm 0,2g$. Na kuželu je ve vzdálenosti 10 mm od hrotu vodorovná ryska. Kuželík je opatřen dvěma závažími, která zajišťují jeho svislost. Vzorek se vtlačí do válcovité nádoby, zarovná nožem a povrch kuželíku se potře vrstvou vazelíny. Poté se postaví nad povrch vzorku a nechá se zabořit. Zemina má vlhkost na úrovni meze tekutosti pokud se během pěti vteřin kuželík zaboří do hloubky 10 mm. Po doplnění zeminy do nádoby a zarovnání se provede se další zkouška, která se od předešlé nesmí lišit o více než dvě procenta.

Drbal (1969) určuje vedle Atterbergovy metody i metodu Vasiljevova kužele. Drbal (1971) doplňuje i postup měření této hodnoty: Na misce se připraví těsto ze 70-100 gramů jemnozeme a 20-25 ml vody. Dále popisuje důležité části pokusu vycházející z normy ČSN 72 1014.

Na obrázku č. 7 je vidět nákres Vasiljevova kužele. Tento kužel není zachycen pomocí ramene a podstavce, je podržen nad vzorkem a pak uvolněn. Je vidět i použití závaží, aby se nezanořoval do vzorku nerovnoměrně.



Obrázek č. 7: Vasiljevův kužel. Tento přístroj byl užíván v ČSSR, ovšem přednost měla Casagrandeho metoda. (Drbal 1971)

Kratochvíl (1982) označuje metodu využívající Casagrandeho misku jako Atterbergovu metodu a zmiňuje se, že je více rozšířena. Dále vychází z normy ČSN 72 1014.

Vaniček (1983) uvádí, že jednobodová metoda dává hrubší výsledky než standardní způsob měření pomocí misky.

Šimek et al. (1990) píše, že metoda Casagrandeho přístroje a Vasiljevova kužele není rovnocenná, v ČSFR se za směrodatnou považuje ta první. Mez tekutosti určená podle Vasiljeva se označuje proužkem – .

Šimek et Houšková (1996) a Vaniček (2000) popisují, že délka spojení dvou polovin zeminy při Casagrandeho metody je 10 milimetrů.

ČSN CEN ISO/TS 17892-12 (2005) popisuje, jak již bylo zmíněno, pouze kuželovou zkoušku. Tato zkouška se od předchozí normy ČSN 72 1014 ovšem liší. Postup přípravy vzorku vyžaduje síta s oky o velikosti 0,4 mm či nejbližší možná, jako metodu přípravy vzorku uvádí metody dvě: suchou a mokrou.

Suchá metoda je shodná s metodou v předešlé normě, mokrá metoda vyžaduje získat 300 gramů zeminy a je získána vytvořením suspenze a promýváním přes síta, dokud není voda protékající pod sítem vizuálně čistá. Vyplavená zemina musí být zachycena, nechána sedimentovat a přebytečná voda musí být slita. Tato suspenze se nechá částečně vysušit teplotou do 50 °C, až se z ní stane tuhá pasta. Ta by byla připravena i proséváním suchou metodou a jejím následným navlhčením destilovanou vodou pomocí stříčky. Je třeba, aby vzorek byl rovnoměrně provlhčen, čehož se dosahuje hnětením a mícháním. U některých zemin může být požadováno hnětení až

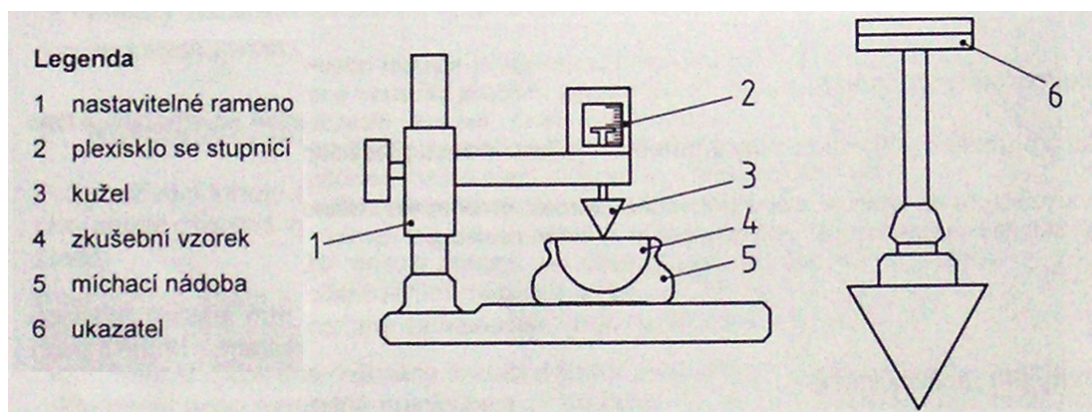
po dobu 40 minut. Na rozdíl od předchozí normy však nevyžaduje odležení v řádu hodin či dne.

Pro kuželovou penetraci mohou být využity kužely dvou parametrů: 80 gramů s úhlem hrotu 30° a nově kužel o hmotnosti 60 gramů a 60°. Použitý kužel ovlivňuje, jaké jsou požadavky na pokus. Shrnuty jsou v tabulce č. 1.

	80 g / 30°	60 g / 60°
první penetrace	okolo 15 mm	okolo 7 mm
penetrační rozsah	15 až 20 mm	7 až 15 mm
maximální rozdíl mezi dvěma úspěšnými zkouškami	0,5 mm	0,4 mm
hloubka penetrace při mezi tekutosti	20 mm	10 mm

Tabulka č. 1: Požadavky kuželové penetrace. Tabulka shrnuje požadavky pro správně prováděný test. Norma umožňuje využít kuželů dvou parametrů co se úhlu hrotu a hmotnosti týče (ČSN CEN ISO/TS 17892-12 2005).

Kuželový přístroj již není variantou Vasiljevova zařízení, podobá se Švédské verzi (srovnej obrázek č. 6 a č. 8).



Obrázek č. 8: Schematické znázornění kuželového přístroje.

Přístroj, který aktuální norma akceptuje. (ČSN CEN ISO/TS 17892-12 2005)

Kužel je upevněn na nastavitelném ramenu, pod které se dá míchací nádoba s připraveným vzorkem, který je nožem zarovnan. Poté se kužel nastaví tak, aby se hrotem dotýkal povrchu vzorku. To se ověří tím, že hrot označuje povrch zeminy. Poté se kužel uvolní, aby se zanořil do vzorku, a po pěti vteřinách se opět zajistí, aby nedocházelo k dalšímu zabořování.

Odečte se hodnota zanoření a pro první zkoušku má mít hodnotu uvedenou v tabulce č. 1. Následovně je vzorek vyjmut navlhčen a opět vložen do misky. V dalších pokusech musí být hodnota zanoření odpovídající hodnotám v tabulce č. 1.

Pokud hodnota odpovídá, je do misky doplněna zemina stejné vlhkosti a dojde k druhému měření, přičemž se nesmí lišit o více, než je v tabulce č. 1 uvedeno. Pokud se hodnoty liší o více, je nutno pokus se zanořením kuželu opakovat; pokud jsou hodnoty mimo dané rozmezí, je nutno vzorek navlhčit či promícháváním nechat vyschnout.

Pokud je vše v pořádku, tedy rozmezí odpovídá a odchylka je přijatelná, dojde k zaznamenání hodnot, odebrání vzorku z misky, který má hmotnost 10 gramů (u zemin s velmi vysokou mezí tekutosti 20 gramů), zvážení a vysušení pro zjištění vlhkosti. Zbylá zemina se smíchá s nepoužitou a bude přivlhčena, aby další měření, která mají být celkem minimálně tři, byla rovnoměrně rozdělena v daném rozmezí. Výsledky budou vyneseny do grafu, který po proložení přímkou určí mez tekutosti zeminy.

Houlsby (1982) popisuje, že změna úhlu kuželu o $\pm 1^\circ$ má vliv na zaboření kužele $\pm 6\%$. Dále uvádí, že otupělost kužele může snížit průchodnost do zeminy až od 9,5%, což lze eliminovat tím, že vrchol kužele se již bude při začátku testu dotýkat povrchu vzorku. Oba tyto vlivy jsou ovšem nevýznamné ve srovnání s vlivem, který má hladkost povrchu kužele.

Koumoto et Houlsby (2001) uvádí, že kužel o úhlu hrotu 60° má oproti úhlu 30° tu výhodu, že je méně náchylný na vliv drsnosti povrchu kužele.

Dolar et Trauner (2005) uvádí, že hloubka zanoření kužele závisí na množství vody mezi jednotlivými zrny, na rozdíl od vody mezi jednotlivými vrstvami, která nemá význam. Voda mezi zrny se skládá z vody uvolněné z pórů a z adsorbované vody na povrchu jílových zrn. Dále uvádí, že objem volné vody je stejný pro různé jíly při stejné hloubce zanoření. Nakonec píše, že tloušťka vrstvičky vody okolo jílových částic je shodná pro různé jíly na stejné hloubce zanoření a celkový objem adsorbované vody v jílech závisí na velikosti jílových zrn.

Chararas (1991) uvádí, že při jeho srovnání měření indexu plasticity kuželovou zkouškou a Casagrandeho metodou došel k podobnosti výsledků. Casagrandeho hodnoty byly systematicky nižší u půd s nižším obsahem jílu. Dále poznamenává, že změny ve specifické tíze nevykazují vliv na podobnost obou metod.

Özer (2009) srovnával Casagrandeho misky s měkčí a tvrdší podložkou, na které samotná miska dopadá a tyto hodnoty srovnával s kuželovou zkouškou. Pokus prováděl na 32 vzorcích. Miska s měkčí podložkou vždy uváděla vyšší hodnoty meze tekutosti ve srovnání s miskou s tvrdší podložkou a to až o 5 procent. Korelační koeficient byl určen $r = 0,998$. Miska s tvrdou podložkou zobrazovala nižší hodnoty meze tekutosti u půd s mezí tekutosti menší než 70% a vyšší hodnoty u půd s mezí tekutosti vyšší než 70% při srovnání s kuželovou zkouškou. Korelační koeficient meze tekutosti byl určen $r = 0,996$. Casagrandeho miska s měkkou podložkou vykazovala vyšší hodnoty u půd s mezí tekutosti větší než 40% ve srovnání s kuželovou zkouškou. Korelační koeficient byl určen $r = 0,997$.

Wires (1984) srovnával Casagrandeho metodu a kuželovou zkoušku z hlediska jednoduchosti pokusu, rychlosti a přesnosti. Byly použity čtyři vzorky, které testovali laboranti s různými zkušenostmi: laborant A, který měl zkušenosti o oběma přístrojích stejné, laboranti C a D, kteří měli zkušenost pouze s Casagrandeho metodou a laborant B, který neměl zkušenosti žádné a který zkoušel metodu kuželové zkoušky. Výsledkem bylo, že laborant A získal hodnoty pomocí kuželové zkoušky rychleji a přesněji ve srovnání s měřením Casagrandeho metodou. Nezkušený laborant B užívající kužele určil mez tekutosti podobnou s laborantem A, ovšem potřeboval na to více než dvojnásobek času. Zkušený laborant C určil hodnoty pomocí Casagrandeho metody podobné jako laborant A, avšak zkušený laborant D měl hodnoty vyšší, než laborant C. Při shrnutí autor článku uvádí, že kuželová zkouška zabere pouze 60% času potřebného na Casagrandeho postup.

4 CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ

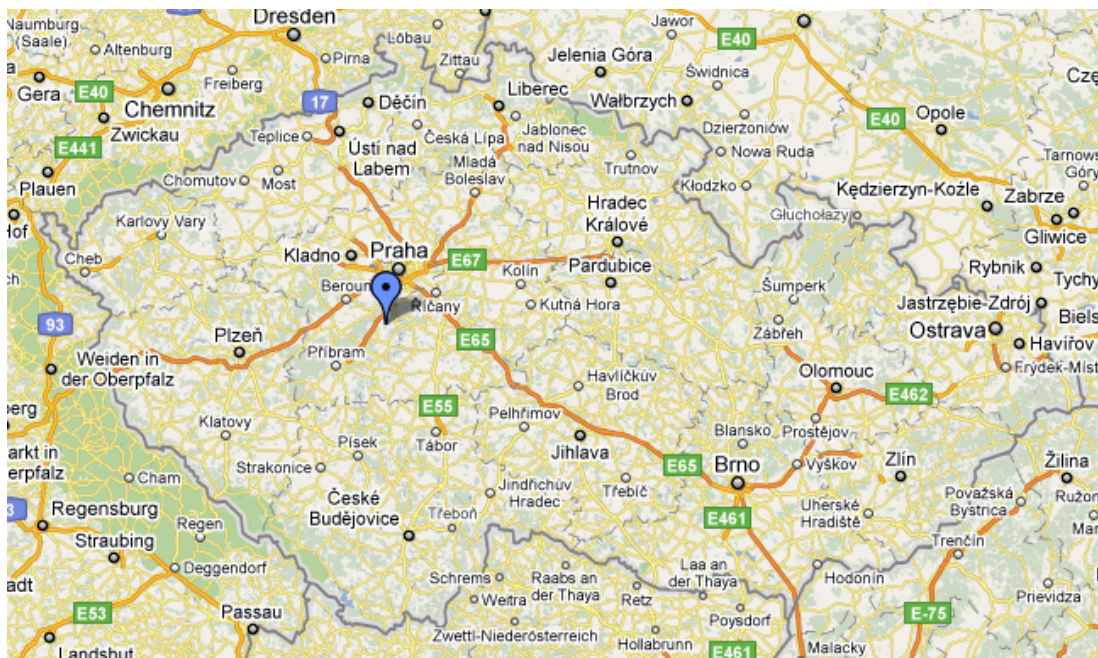
Lokalita, ze které byl odebrán vzorek, se nachází ve Středočeském kraji (obrázek č. 9), v katastrálním území obce Čisovice na pozemku 506/6 (příloha č. 1). Dle majitele pozemku, byl tento pozemek dříve využíván jako naleziště kaolínu. V informacích o parcele v záznamu katastru nemovitostí je stále veden jako dobývací prostor. Souřadnice místa odběru jsou GPS: 49°51'37.2"N, 14°19'35.6"E (s přesností na tři metry).

Geologické podloží: proterozoické horniny assyntsky zvrásněné, s různě silným variským přepřacováním (břidlice, fylity, svory až pararuly). Údaje byly získány z geoportálu Cenia.

Půdní typ dle taxonomického klasifikačního systému půd ČR: glej modální.

BPEJ samotný pozemek nemá. Určeno bylo v rozmezí hodnot 4.64.04 až 4.68.04; 4.70.04. Sousední pozemek BPEJ zapsáno má, jeho hodnota je 4.68.11.

Samotné místo výkopu je svah na západní stěně těžiště, nad tímto místem je obdělávaná půda (příloha č. 2).



Obrázek č. 9: Přehledová mapa ČR s vyznačeným místem odběru. Místo se nachází v okrese Praha-západ nedaleko města Mníšek pod Brdy. (mapy.google.cz)

5 METODIKA

Při metodice zjišťování indexu plasticity jsem se opíral z největší části o aktuální normu ČSN CEN ISO/TS 17892-12. Pokud šlo o práci s Casagrandeho miskou, pak jsem využíval z části staré normy ČSN 72 1014. Avšak aby byly podmínky zkoušky meze tekutosti pomocí penetračního kužele a misky co nejvíce podobné, využíval jsem jedněch vzorků připravených podle normy nové, i když stará popisovala pro Casagrandeho misku postup jiný.

5.1 Odběr vzorku

Vzorek o hmotnosti cca jeden a půl kilogramu byl odebrán na zájmovém území ve stěně svahu při rozměru povrchového výkopu přibližně 20 x 20 centimetrů. Odebrán byl jak sypký materiál, tak spojitý přirozenou vlhkostí půdy. Vzorek byl uložen do igelitové tašky, aby nedocházelo k jeho osychání a byl transportován do laboratoře. Mezi odběrem a měřením došlo k prodlevě jednoho dne.

5.2 Vybavení

- síta o průměru ok 2 a 0,388 milimetrů včetně zachycovací nádoby
- plastová stěrka
- stříčka s destilovanou vodou
- mísy různých velikostí
- posuvné měřidlo
- lžička
- nůž
- váženky
- skleněná míchací deska
- porcelánový hmoždíř s tloučkem
- penetrometr s elektrickým uvolňovacím a zajišťovacím zařízením
- míchací nádoba
- Casagrandeho miska
- vyřezávací nůž
- sušárna/pec

Poznámka: Vybavení je zdokumentováno v příloze. Na přiloženém nosiči je k dispozici video činnosti penetrometru.

5.3 Příprava vzorku

Část vzorku půdy byl vyjmut z igelitové tašky a v míse rukama rozdroben. Poté byl vsypán na síto o průměru ok 2 mm, které spočívalo na sítu o průměru ok 0,388 mm (příloha č. 8). Tato velikost byla vybrána proto, že norma požaduje velikost ok 0,4 mm či jinou nejbližší hodnotu. Pod ním byla umístěna zachycovací nádoba. Po prosetí této části vzorku bylo postupováno stejně se zbytkem vzorku; sypká část vzorku se pochopitelně rozdrobovat nemusela. Agregáty, jejichž součástí byly i pseudoagregáty byly dále rozmělnovány v hmoždíři pomocí tlouku metodou tření. To za následek mělo buď menší části, nebo souvislé pokrytí stěny hmoždíře, které bylo třeba rozmělnit ručně. Ze vzorku bylo naváženo přesně 300 gramů proseté půdy. Tato operace zabrala přibližně dvě a půl hodiny. Doporučuji využít drtičky z důvodu zrychlení procedury, nehledě na komfort laboranta.

Tato zemina byla rovnoměrně rozprostřena v míchací míse a dále pomocí stříčky s destilovanou vodou (příloha č. 9) navlhčena tak, aby při následném promíchání pomocí stěrky vytvořila pastu. Pasta byla dále promíchávána, aby rozložení vlhkosti bylo rovnoměrné v celém vzorku. Se zeminou tak bylo zacházeno jako při míchání těsta. Po několikaminutovém míchání byl ze suspenze odebrán pomocí plastové stěrky díl, který byl vložen do kovové míchací nádoby válcového tvaru.

5.4 Stanovení meze tekutosti

Vzorek musel být po vložení do míchací nádoby důkladně stlačen stěrkou, aby v nádobě nezůstaly bubliny vzduchu. Ta část vzorku, která přesahovala nad okraj míchací nádoby, byla pomocí hrany nože odstraněna. Nepoužitá a seříznutá část vzorku byla spolu se samotnou mísou, ve které byla uložena, překryta navlhčeným ručníkem, aby nedošlo k osychání vzorku.

Vzorek v míchací nádobě byl vložen pod hrot penetračního kužele (příloha č. 5 a 6), jehož váha byla 80 gramů a úhel hrotu 30 stupňů. Při vkládání nádoby bylo třeba dbát, aby kužel na stojanu byl výše nad nádobou a nehrozilo uražení hrotu (příloha č. 11).

Části penetračního kuželu, se kterými bylo pracováno: podstavec, nastavitelné rameno, libela, kužel, uvolňovací knoflík, šroub pro nastavení výšky kuželu, odečítací zařízení s ručičkou, měřidlo, zrcátko a elektrické uvolňovací a zajišťovací zařízení (příloha č. 7).

Správná výška kužele byla taková, aby se hrot dotýkal povrchu vzorku. To se dalo ověřit tím, že výška byla správná v tom momentě, kdy jemným pohybem misky po podstavci docházelo k jemnému kreslení hrotem na povrchu vzorku. Poté byla miska přesunuta přesně pod kužel.

Uvolňovací zařízení bylo nastaveno na 5 vteřin a následně spuštěno. Kužel se zabořil do vzorku a po pěti vteřinách byl automaticky zajištěn. Tato doba je stanovena proto, aby kužel se nezačal postupně propadat sám. Za odečítacím zařízením je umístěno kovové měřicí zařízení tvaru svislé tyčky, po jehož stisknutí je změřena výška a zobrazena na odečítacím zařízení mezi původní polohou kužele a polohou, ve které byl kužel zajištěn s přesností na desetinu milimetru (příloha č. 12). Poté byl kužel vysunut nahoru do původní polohy, vyšroubován o pár milimetrů výše a miska i s obsahem byla odsunuta mimo přístroj. Po každém použití kužele ho bylo nutno očistit od vzorku navlhčeným hadrem; zrcátko poskytovalo kontrolu, zdali je čistá i zadní strana kužele. Po očištění byl kužel vždy osušen papírovou utěrkou.

Hodnota první penetrace měla být kolem 15 mm, a tak když poprvé byla příliš vysoká, byla pasta míchána, aby došlo ke ztrátě vody. Další pokusy měly proběhnout v rozmezí 15 až 20 mm.

Po dosažení požadované hodnoty první penetrace byla do pasty vždy přidána voda, aby se zvýšila její celková vlhkost. Po každém přidání vody musela být pasta pečlivě promíchána, aby nedošlo k tomu, že v jiné části vzorku by byla vlhkost jiná. Práce s kuželem se opakovala do té doby, než bylo dosaženo hodnot vyšších než 15 milimetrů. Jakmile k tomu došlo, byla míchací miska doplněna o další část vzorku se stejnou vlhkostí a opět urovnána nožem. Hodnoty dvou po sobě následujících zkoušek se vzorky se stejnou vlhkostí se nesměly lišit o více než 0,5 mm. Získané hodnoty byly zaznamenány. Pokud tyto zkoušky vyhovovaly podmínkám, byla pasta získaná z míchací nádoby přenesena na Casagrandeho misku (příloha č. 3 a 4).

Součásti Casagrandeho misky, se kterými bylo manipulováno: podložka, miska, klička na udílení pohybu misce, počítadlo úderů, šroub nulující počítadlo.

Pasty bylo použito tolik, aby pokrývala spodní část misky v tloušťce minimálně 1 cm. Vyřezávacím nožem, který je sestaven, aby vyhovoval vytváření brázdy požadovaných parametrů, byla uprostřed vzorku vytvořena rýha ve směru od toho konce misky, který byl napojen na zbytek přístroje, k tomu konci misky, kde

docházelo při otáčení kličky k největšímu zdvihu (příloha č. 13). Vyřezávací nůž kromě vytvoření samotné rýhy o spodní šíři 2 mm, horní šíři 40 mm zároveň odstraňoval přebytečnou výšku vzorku.

Kličkou bylo otáčeno rychlostí dvou otáček za vteřinu do té doby, než se obě poloviny vzorku rozdělené rýhou slily po délce 12,5 milimetru. Vzorek byl doplněn o další část z míchací nádoby a opět byla vytvořena rýha. Tento postup byl opakován do té doby, dokud se počet úderů dvou po sobě následujících zkoušek nelišil maximálně o pět. Získané hodnoty byly zaznamenány.

Váženka (příloha č. 10) byla jednoznačně identifikována a zvážena a z použitého vzorku z Casagrandeho misky bylo odebráno 20 gramů s přesností na gram a vloženo do váženky.

Po tomto postupu byla zbývající část použitého vzorku smíchána z nevyužitých částí pasty a poté došlo k přivlhčení pomocí stříčky a opětovnému promíchání. Takto získaná pasta byla připravena k dalšímu měření meze tekutosti o vyšší vlhkosti. Celkem bylo provedeno pět měření tímto postupem v rozmezí zanoření penetračního kuželu mezi 15 až 20 milimetrů. Tato část zabrala přibližně tři hodiny.

5.5 Stanovení meze plasticity

Pro potřeby této zkoušky bylo vyjmuto 20 gramů připravené pasty, která byla rozprostřena na míchací desku, aby dříve ztratila podíl vody. Vhodné je tuto část připravit již před měřením penetrometrem. Po jistém oschnutí a pravidelném promíchávání, aby pasta neosychala pouze na povrchu, bylo možno z pasty utvořit kuličku, která vznikla válením nejprve mezi prsty a pak mezi dlaněmi. Teplem třením a rukou ztrácela rychleji vlhkost a mohla tak sesbírat zbytky odebraného vzorku z desky. Kulička byla střídavě hnětena mezi prsty a válena v dlaních, aby opět nedošlo k osychání povrchu a tvorbě krusty. V okamžiku, kdy se na kuličce začaly objevovat drobné prasklinky, byla připravena k dalšímu kroku.

Kulička byla rozdělena na dvě poloviny, jedna byla překryta navlhčeným ručníkem, s druhou se dále pracovalo. Tato polovina byla rozdělena na čtyři díly (příloha č. 14), tři z nich byly překryty, zbývající byl mezi palcem a ukazováčkem ruky rozválen do válečku o tloušťce cca 6 mm. Poté byl jednou rukou, později dvěma, pomocí ukazováčku a prsteníčku válen mezi koncem prstů a druhým kloubem rychlostí přibližně jednoho pohybu tam a zpět za vteřinu. Síla pohybu byla rovnoměrná a

taková, aby za pět až deset pohybů byla váleček rozválen na průměr 3 milimetry, při které se začal samovolně rozpadat na části o přibližné délce 5-10 mm.

Jakmile se tak stalo, byly tyto úlomky sesbírány a vloženy do odvážené váženky a překryty víčkem. Stejný postup se opakoval u zbylých tří částí z rozdělené poloviny kuličky (příloha č. 15).

Poté byla váženka i se svým obsahem složeným z rozpadlých hádků poloviny kuličky zvážena. Celý postup se opakoval u druhé poloviny kuličky, rozpadlé části však byly vloženy do jiné váženky, aby v něm mohla být vlhkost určena samostatně. Postup zabral přibližně půl hodiny.

5.6 Zjištění vlhkosti

Všechny váženky se vzorky, tedy pět váženek ze stanovení meze tekutosti a dvě ze stanovení meze plasticity byly vloženy do sušárny/pece, na které byla nastavena teplota 105 °C. Z té byly po 24 hodinách vyjmuty a byly váženky i se svým obsahem opět zváženy, vymyty, osušeny a pro kontrolu opět zváženy.

Hmotnosti vody ve vzorků byly zjištěny odečtením hmotnosti po vysušení od hmotnosti před vysušení. Pomocí vzorce $w = \frac{m_w}{m_M} \cdot 100$, kde w je vlhkost, m_w je hmotnost vody a m_M je hmotnost částic byla získána **vlhkost vzorků** při stanovování pokusu.

5.7 Zjištění meze plasticity

Mez plasticity byla stanovena jako průměr vlhkosti dvou dílčích vzorků. Jejich hodnoty se nesměly lišit o více než 0,5%.

5.8 Zjištění meze tekutosti

Hodnoty vlhkosti z pěti vzorků byly vyneseny na X osu grafu, hloubka zaboření kužele u **kuželové zkoušky** byla vynesena osu Y. Hodnotami se proložila přímka lineární regrese a byla odečtena hodnota protínající křivku a hloubku penetrace 20 milimetrů.

Hodnoty vlhkosti z pěti vzorků byly vyneseny na X osu grafu, počet úderů misky u **Casagrandeho aparátu** byl vynesena na osu Y. Hodnotami se proložila přímka lineární regrese a byla odečtena hodnota protínající křivku a počet 25 úderů misky.

5.9 Zjištění indexu plasticity

Mez plasticity je určena odečtením hodnot meze plasticity od meze tekutosti.

6 VÝSLEDKY PRÁCE

číslo měření	hmotnost vzorku před vysušením [g]	hmotnost vzorku po vysušení [g]	hmotnost vody [g]	hmotnostní vlhkost [%]	průměrná hmotnostní vlhkost [%]
1	7,29	6,07	1,22	20,10	20,33
2	5,51	4,57	0,94	20,57	

Tabulka č. 2: Výsledky měření meze plasticity

číslo měření	penetrometr [mm] zkouška 1	penetrometr [mm] zkouška 2	Casagrande [počet úderů] zkouška 1	Casagrande [počet úderů] zkouška 1
1	15,1	15,4	45	50
2	15,8	15,6	51	48
3	17,3	17,5	40	35
4	17,1	16,6	48	47
5	19,6	19,2	25	25

Tabulka č. 3: Hodnoty při měření meze tekutosti

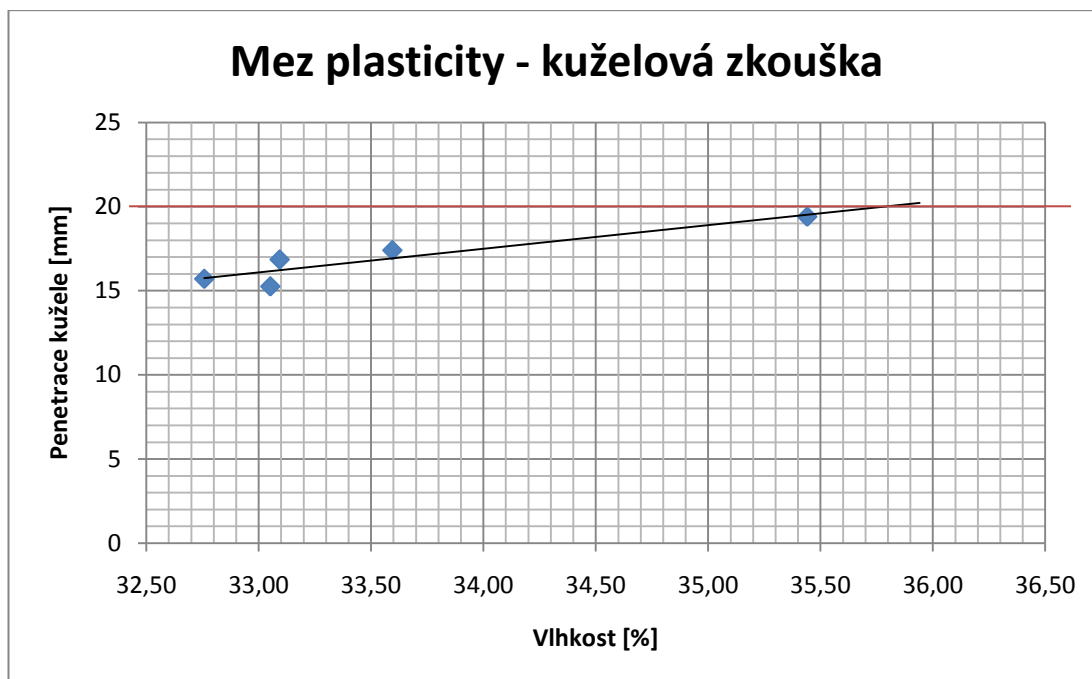
číslo měření	penetrometr [mm] průměr	Casagrande [počet úderů] průměr	hmotnost vzorku před vysušením [g]	hmotnost vzorku po vysušení [g]	hmotnost vody [g]	hmotnostní vlhkost [%]
1	15,25	47,5	29,91	22,48	7,43	33,05
2	15,7	49,5	20,75	15,63	5,12	32,76
3	17,4	37,5	20,44	15,3	5,14	33,59
4	16,85	47,5	20,31	15,26	5,05	33,09
5	19,4	25	20,56	15,18	5,38	35,44

Tabulka č. 4: Průměrné hodnoty měření meze tekutosti, hmotnosti vzorků při zkoušce a po vysušení, výpočet obdařené vody a vypočtená hmotnostní vlhkost.

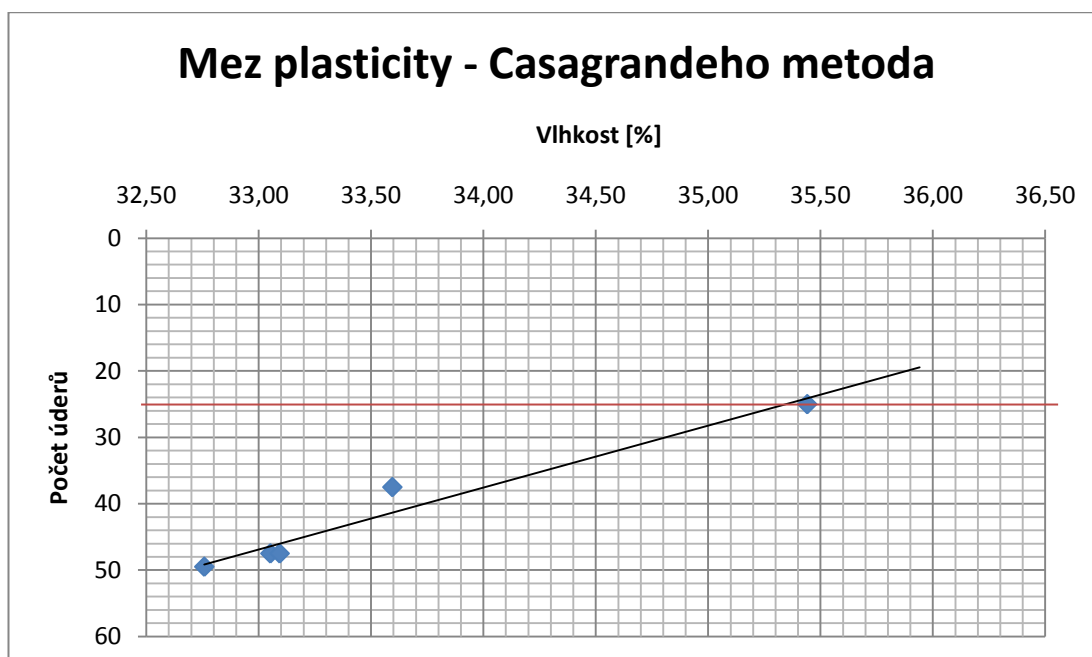
	mez tekutosti	mez plasticity	index plasticity
penetrometr	35,80	20,33	15,47
Casagrande	35,35		15,02

Tabulka č. 5: Stanovení indexu plasticity odečtením meze tekutosti od meze plasticity.

Srovnání výsledků obou metod.



Obrázek č. 10: Graf výsledků meze tekutosti pomocí kuželové zkoušky včetně lineární regrese a přímky vyznačující hodnotu meze tekutosti



Obrázek č. 11: Graf výsledků meze tekutosti pomocí Casagrandeho metody včetně lineární regrese a přímky vyznačující hodnotu meze tekutosti

7 DISKUSE

7.1 Praktická část

Práci na stanovení indexu plasticity jsem si mohl ověřit postupy v praxi a získat srovnání.

Příprava vzorku podle aktuální metody ČSN CEN ISO/TS 17892-12 je mnohem rychlejší než metoda uváděná v předešlé normě ČSN 72 1014. Nemusel jsem čekat do druhého dne, až vzorky budou dostatečně prosyceny. Navíc při první přípravě vzorků v laboratoři ČZU jsem měl velké problémy tyto přivlhčené vzorky připravit, přesto, že jsem přesně odměřoval dávkování vody na hmotnost půdy.

Před samotnou prací na bakalářské práci jsem využíval Casagrandeho misku pro počáteční pokusy a tak jsem s ní měl nějaké zkušenosti. Přesto mohu souhlasit s tvrzením, které uvádí Wires (1984), že práce s penetračním kuželem je snazší na ovládání a pokusy se provádí rychleji, tedy v mém případě srovnatelně rychle s metodou, se kterou jsem již byl obeznámen.

Casagrandeho miska má také jiné nevýhody. Při stanovené rychlosti úderů misky o podložku, která je dva údery za vteřinu, není možné přesně měřit, zdali se dvě poloviny vzorku slily právě na 12,5 milimetrů. Zaznamenání počtu úderů při této délce slití je tedy ovlivněno přesností odhadu, kdy je výše uvedené délky dosaženo. Metoda navrhovaná profesorem Dobiášem z naší univerzity činí opak: místo počítání úderů, kdy se vzorek slije na 12,5 milimetrů, je počítáno, na kolik se vzorek slil při 25 úderech.

Dle mého názoru podepřeného prací s tímto přístrojem je těžké dosáhnout požadavku předešlé normy, která vyžaduje, aby oba po sobě jdoucí pokusy na vzorku o stejné vlhkosti měli stejný počet zaznamenaných úderů. Tím spíše dosáhnout toho, aby se vzorek slil na výše uvedenou délku právě při pětadvaceti úderech, tedy mezi tekutosti.

Zajímavého ulehčení pokusu jsem se dočkal u válení hádků pro stanovení meze plasticity, neboť když jsem postupoval podle aktuální technické normy přípravy hádky, válečky se začali sami rozpadat při požadovaném průměru.

7.2 Zhodnocení výsledků

Hodnoty meze tekutosti a tedy i indexu plasticity se použitím rozdílných metod u mého vzorku nijak zvláště neliší. Jak uvádí například Myslivec (1954), dělí se zeminy dle Atterbergových mezí dle hodnoty indexu plasticity na čtyři kategorie, přičemž kategorie jílu, do které bych výsledkem 15,47 či 15,02 zařadil i svůj vzorek má rozpětí 10-20 procent a tak 0,45 procenta rozdílu není vysoké číslo. Navíc pokud se budu držet požadavků normy na hmotnost odebraného materiálu pro vysušení, tedy cca dvacet gramů u jílu při mezi tekutosti a dvakrát deset gramů u meze plasticity, pak i desetina gramu může tuto hodnotu ovlivnit.

To se v mém případě projevilo u výpočtu meze plasticity, kdy dvacetigramový vzorek rozdělený na dva, může být lehce ovlivněn odpařením části vody mezi vyválním hádka a zvážením všech jeho fragmentů či zanechání drobného úlomku na pracovní desce. Poté může být lehce překročena hodnota tolerance mezi dvěma polovinami vzorku (dvou polovin kuličky, na kterých byla samostatně určena vlhkost), která činí pouhého půl procenta.

Z mých výsledků se zároveň nedá tvrdit, že by jedna metoda stanovení meze tekutosti byla přesnější než druhá, ovšem práce na toto téma a mé zkušenosti potvrzují, že kuželová zkouška má více předností. Vhodnějším řešením by jistě bylo provést na zájmovém vzorku více nezávislých měření.

8 ZÁVĚR

Výsledky mé práce jsou v první řadě praktické:

- stanovil jsem index plasticity zeminy na zájmovém vzorku při zprůměrování obou hodnot měření na 15,34 procent
- seznámil jsem se s postupem stanovení mezí tekutosti a plasticity
- vyhodnotil jsem, že ač Casagrandeho metoda byla více užívaná, pak kuželová metoda popisovaná ve stávající normě je výhodnější z hlediska času i obsluhy s čímž se s literaturou shodnu
- nemohu prohlásit, že svým měřením je jedna metoda přesnější než metoda druhá

Cíle tedy byly povětšinou splněny.

Práce obeznámila čtenáře se současně využívanou metodou kuželové zkoušky a s dříve preferovanou metodou Casagrandeho misky. Tyto metody porovnala jak po stránce uvedení v literatuře, tak po stránce praktické. Umožňuje uplatnění této práce při výuce předmětu hydroopedologie, poskytuje obrazový materiál a další zdroje ke studiu.

Dosažené výsledky budou prakticky uplatněny při zájmu rozvoje zájmového území.

Lepší popis dané problematiky by poskytlo dlouhodobé srovnávání metod stanovení indexu plasticity na různých vzorcích. Přesto se dá tvrdit, že řízení se aktuální normou ČSN CEN ISO/TS 17892-12 bude přinášet dostatečně relevantní hodnoty.

9 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

ČSN CEN ISO/TS 17892-12. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 12: Stanovení konzistenčních mezí*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 16 s.

ČSN 72 1014. *Laboratorní stanovení meze tekutosti zemin*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1967. 9 s.

DOLINAR, Bojana; TRAUNER, Ludvik. Impact of Soil Composition on Fall Cone Test Results. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. January 2005, No. 1, s. 126-130.

DRBAL, Jiří. *Meliorační pedologie*. Praha : Vysoká škola zemědělská v Praze, 1969. 347 s.

DRBAL, Jiří. *Praktikum meliorační pedologie*. Praha : Vysoká škola zemědělská v Praze, 1970. 260 s.

HOULSBY, G. T. Theoretical analysis of the fall cone test. *Géotechnique*. 1982, No. 2, s. 111-118.

CHRISTARAS, Basiles. A comparison of the Casagrande and fall cone penetrometer methods for liquid limit determination in marls from Crete, Greece. *Engineering Geology*. 1991, 31, s. 131-142.

Laboratory Soils Testing. Washington, D. C. : Department of the Army, Office of the Chief of Engineers, 1986. 407 s.

KÉZDI, Árpád. *Handbook of soil mechanics : Soil testing*. Budapest : Akadémiai Kiadó, 1980. 258 s. ISBN 963-05-1776-0.

KOUMOTO, T.; HOULSBY, G. T. Theory and practice of the fall cone test. *Géotechnique*. 2001, No. 8, s. 701-712.

KRATOCHVÍL, Miloš. *Mechanika zemin : Cvičení*. Bratislava : Alfa, 1982. 98 s.

MANDAL, J. N.; DIVSHIKAR, D.G. *Soil testing in civil engineering*. Rotterdam : A.A. Balkema, 1995. 249 s. ISBN 90-5410-233-0.

MYSLIVEC, Alois. *Mechanika zemin*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1954. 303 s.

ÖTZER, Mustafa. Comparison of liquid limit values determined using the hard and soft base Casagrande apparatus and the cone penetrometer. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2009, No. 3, s. 205-216.

VANÍČEK, Ivan. *Mechanika zemin*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1983. 331 s.

VANÍČEK, Ivan. *Geomechanika 10 : Mechanika zemin*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 229 s. ISBN 80-01-01437-1.

VÉVODA, Jan. *Mechanika zemin*. Brno : Vysoké učení technické, 1978. 112 s.

WIRES, K. C. The Casagrande method versus the drop-cone penetrometer method for the determination of liquid limit. *Canadian Journal of Soil Science*. 1984, Number 2, s. 297-300.

ŠIMEK, Jiří; HOLOUŠOVÁ, Tařana. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1996. 154 s. ISBN 80-01-1479-7.

ŠIMEK, Jiří; VANÍČEK, Ivan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1983. 158 s.

ŠIMEK, Jiří, et al. *Mechanika zemin*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 387 s. ISBN 80-03-00428-4.

10 PŘÍLOHY

Až na přílohu č. 1 jsou všechny ostatní přílohy pořízeny autorem práce.



*Příloha č. 1: Letecká mapa obce Čisovice s vyznačeným místem odběru.
Místo je nedaleko toku Bojovského potoka. (mapy.google.cz)*



*Příloha č. 2: Místo odběru.
Vzorek byl odebrán ze svahu uprostřed*



Příloha č. 3: Casagrandeho miska, pohled z boku.



Příloha č. 4: Casagrandeho miska, pohled zepředu.



Příloha č. 5: Penetrační kužel



Příloha č. 6: Detail kužele



*Příloha č. 7: Elektrické spouštěcí
zařízení penetračního kužele*



Příloha č. 8: Síta se zeminou



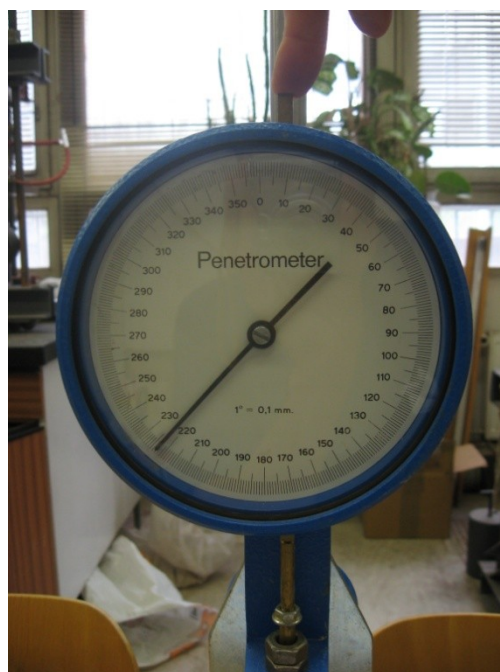
*Příloha č. 9: Pomůcky.
(zleva) posuvné měřidlo, stěrka, lžice,
stříčka, míchací miska, nůž na míchací
desce.*



Příloha č. 10: Váženky



*Příloha č. 11: Míchací miska
naplněna vzorkem, připravena na
první pokus.*



*Příloha č. 12: Odečítací zařízení
penetrometru. Hodnota ukazovaná
ručičkou se zobrazí po stisknutí kovové
tyčky.*



Příloha č. 13: Naplněná Casagrandeho miska



Příloha č. 14: Polovina vzorku pro stanovení meze plasticity. Je již rozdělena na čtyři díly pro dílčí zkoušky.



Příloha č. 15: Vyválené válečky z poloviny vzorku.